

AUS DEM ZAHNÄRZTLICHEN INSTITUT DER UNIVERSITÄT
ZÜRICH / ABTEILUNG KRONEN UND BRÜCKEN

Leiter: Prof. Dr. E. Dolder

Experimentelle Untersuchung von Silikatzementen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der medizinischen Fakultät der Universität Zürich

vorgelegt von

MARKUS JULEN

von Zermatt (Kt. Wallis)

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. E. Dolder

Zürich 1953

Buchdruckerei Paul Gehring, Winterthur-Töb

AUS DEM ZAHNÄRZTLICHEN INSTITUT DER UNIVERSITÄT
ZÜRICH / ABTEILUNG KRONEN UND BRÜCKEN

Leiter: Prof. Dr. E. Dolder

Experimentelle Untersuchung von Silikatzementen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der medizinischen Fakultät der Universität Zürich

vorgelegt von

MARKUS JULEN

von Zermatt (Kt. Wallis)

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. E. Dolder

Zürich 1953

Buchdruckerei Paul Gehring, Winterthur-Töß



Digitized by the Internet Archive
in 2026

UNIV.
LIBRARY
SIDEN

https://archive.org/details/IA41507224_0117

Experimentelle Untersuchung von Silikatzementen

Im Jahre 1903 brachte Ascher (Berlin) das erste *Silikatzement* auf den Markt. Wissenschaft und Industrie haben im Laufe der Jahre in gemeinsamer Arbeit neue und bessere Silikatzemente geschaffen, so daß heute der Zahnarzt unter einer großen Zahl von Produkten auswählen kann, und es für ihn nicht mehr leicht ist, sich für dieses oder jenes zu entscheiden. Darum wurde es notwendig, die zahlreichen auf dem Markt erscheinenden Silikatzemente auf ihre praktische Brauchbarkeit hin zu prüfen.

Das «National Bureau of Standards» in Washington hat 1920 in Verbindung mit der Amerikanischen Zahnärztesgesellschaft eine ständige Prüfstelle eingerichtet, deren Aufgabe es ist, zahnärztliche Werkstoffe zu prüfen. Seither wurden für viele Werkstoffe Normaufstellungen (Specifications) publiziert, in denen die Untersuchungsmethoden ausführlich dargelegt, die Prüfapparate genau beschrieben und die geforderten Maximal- bzw. Minimalwerte zahlenmäßig festgelegt sind.

Im Jahre 1938 veröffentlichten Paffenbarger, Schoonover und Souder im «Journal of the American Dental Association and the Dental Cosmos, Vol. 25, January, 1938» eine große Arbeit über «Dental Silicate Cements: Physical and Chemical Properties and a Specification». In dieser Abhandlung werden eine Reihe Präparate angegeben, die systematisch untersucht wurden. Die hierbei angewandte Methodik und die Resultate ergaben in Zusammenarbeit mit den amerikanischen Zahnärzten und gestützt auf deren praktische Erfahrung die Grundlage für eine Prüfmethode, die das «Bureau of Standards» als Norm für die Anforderungen an ein Silikatzement aufstellte. Diese Normen wurden 1950 erstmals revidiert und im «Journal of the American Dental Association» unter dem Titel «American Dental Association Specification No. 9 for Dental Silicate Cement First Revision Effective July 1, 1950» veröffentlicht. Da sie die Grundlage vorliegender Arbeit sind, werden sie hier zunächst übersetzt.

A. Anwendbare Spezifikationen

- A-I Nur die von der Amerikanischen Zahnärztesgesellschaft aufgestellten Normen sind gültig.

B. Typus, Grade und Klassen

- B-I Typus: Nur eine Zementart wird beschrieben.
B-2 Farbe (Schattierungen): Die Farbtöne des abgebundenen Zementes werden vom Verkäufer spezifiziert.

C. Material und Arbeit

- C-1 **Material:** Diese Spezifikation gilt für zahnärztliche Zemente, die für Füllungen an den Frontzähnen verwendet werden. Das Zement soll aus Pulver und Flüssigkeit bestehen, die, in der üblichen Weise auf einer Glasplatte mit einem Spatel gemischt, abbinden und hart werden.
- C-2 **Arbeit:** Die Arbeit muß durchwegs einwandfrei ausgeführt werden. Pulver, Flüssigkeit und ihre Behälter sollen frei sein von Mängeln, welche ihr Aussehen oder ihre Verwendbarkeit beeinträchtigen könnten.

D. Allgemeine Forderungen

Siehe Abschnitt E

E. Spezielle Forderungen

- E-1 **Flüssigkeit:** Die Flüssigkeit soll wasserklar sein, und der Glasbehälter darf keine Ablagerungen oder Niederschläge enthalten.
- E-1a Es soll 20% mehr Flüssigkeit geliefert werden, als für die Mischung der gesamten Pulvermenge einer vollen Flaschenportion (meistens ungefähr 14 g) zu Prüfungskonsistenz benötigt wird.
- E-2 **Pulver:** Das Pulver muß frei sein von Fremdmaterial, wie Schmutz und Fäden. Der Farbstoff soll im Pulver gleichmäßig verteilt sein.
- E-3 **Zement:** Wenn das Zement in der nachfolgend beschriebenen Weise durchgespatelt ist, so soll es keine Klumpen oder Körner mehr enthalten.
- E-3a **Konsistenz-Prüfung:** Für die Konsistenz-Prüfung soll die Pulvermenge, gemischt mit 0,4 cm³ Flüssigkeit einen Kreis von 25 ± 1 mm Durchmesser ergeben, wie unter Paragraph F-3 beschrieben wird.
- E-3b **Abbindezeit:** Die Abbindezeit soll nicht weniger als drei und nicht mehr als acht Minuten betragen.
- E-3c **Druckfestigkeit:** Die Druckfestigkeit soll nicht kleiner sein als 1,620 kg per cm², für Proben, die 24 Stunden nach der Mischung belastet werden.
- E-3d **Transluzenz:** Die Undurchsichtigkeit («opacity» entspricht hier nicht dem uns geläufigen Begriff der Transluzenz, sondern bedeutet gerade das Gegenteil), dargestellt durch das Kontrastverhältnis C 0,70, soll 24 Stunden nach der Mischung nicht weniger als 0,35 und nicht mehr als 0,55 betragen. Das Kontrastverhältnis C 0,70 ist das Verhältnis zwischen der scheinbaren Reflexion des Tageslichtes des Zementprobestkörpers von 1 mm Dicke vor einem schwarzen Hintergrund und der

scheinbaren Tageslichtreflexion des Probekörpers vor einem weißen Hintergrund, der seinerseits eine scheinbare Tageslichtreflexion von 70 % bezüglich Magnesiumoxyd hat.

- E-3e *Löslichkeit*: Die Löslichkeit eines Zementes soll nicht mehr als 1,4% des Gewichts betragen, wenn der Probekörper für 24 Stunden in destilliertes Wasser von 37° C getaucht wird.
- E-3f *Arsen-Gehalt*: Der im Wasser lösliche Arsen-Gehalt des gemischten Zementes soll nicht mehr als einen Teil auf 500 000 betragen, d. h. 0,0002 % des Gewichtes.
- E-3g *Anweisungen*: Die Anweisungen für die Proportionierung und Handhabung sollen auch Vorschriften bezüglich der Temperatur der Glasplatte, des Pulver-Flüssigkeit-Verhältnisses, der Geschwindigkeit der Pulvereinverleibung und der Mischungsdauer enthalten.

Soweit die Vorschriften. Die Methode der einzelnen Prüfungen wird jeweils besonders erläutert werden.

Nach diesen Vorschriften wurden drei in der Schweiz oft verwendete Silikatzemente untersucht. Es sind folgende Markenpräparate:

Syntrex de Trey
SS. White
FP 7

Laut den amerikanischen Spezifikationen sollten folgende Eigenschaften der Silikatzemente geprüft werden:

Konsistenz	Transluzenz
Abbindezeit	Löslichkeit
Druckfestigkeit	Arsengehalt

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Prüfung von Konsistenz, Transluzenz und Löslichkeit, da diese Faktoren für die Praxis am wichtigsten sind. Zur exakten Beurteilung eines Silikatzementes sollten alle Eigenschaften geprüft werden, doch da die Silikatzementfüllungen als approximale Frontzahnfüllungen in der Regel durch den Kaudruck nicht direkt belastet werden, ist eine Prüfung der Druckfestigkeit nicht unbedingt notwendig. Die Abbindezeit liegt bei allen drei Produkten innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen. Um den Arsengehalt zu bestimmen, müßten wegen der Genauigkeit der Messung sehr teure Apparaturen angeschafft werden, was mit zu großen Kosten verbunden wäre. Dafür wurden noch zusätzlich die Oberflächen und Randzonen von Silikatzementen untersucht, und diese Versuche zeitigten für die Praxis sehr wertvolle Ergebnisse.

Alle Untersuchungen wurden im gleichen Raum bei konstanter Temperatur durchgeführt und alle zu untersuchenden Materialien wurden stets darin aufbewahrt. Bevor ich mit den Untersuchungen begann, machte ich mich gründlich vertraut mit der Anrührtechnik der einzelnen Materialien, da diese viel Übung und Sorgfalt verlangt.

Methodik des Anrührens und der Herstellung der Proben

Die Pulvermenge wurde mit einer analytischen Waage genau abgewogen und auf eine de Trey-Glasplatte von Zimmertemperatur (21°C) gebracht. Die gesamte Pulvermenge wurde so geteilt, daß drei Portionen von $\frac{1}{2}$ und zweimal $\frac{1}{4}$ der Gesamtmenge entstanden. Dann wurden mit einer auf einen Hundertstel ml graduierten Pipette 0,4 ml Flüssigkeit auf die Platte gegeben. Die Flasche darf zur Entnahme der Flüssigkeit nur kurz geöffnet werden. In Abständen von je 15 Sekunden wurden die drei Portionen in die Flüssigkeit gebracht und mit einem Achatspatel durchgespachtelt. In 45 Sekunden muß die gesamte Pulvermenge der Flüssigkeit einverleibt sein, so daß in der restlichen Zeit die Gesamtmenge durch lineare Bewegungen des Spatels zu einer homogenen, plastischen Masse verarbeitet werden kann. Es dürfen keine Spuren von Flüssigkeit oder Pulver auf der Platte zurückbleiben. Die Mischungszeit betrug bei SS. White und FP 7 eine Minute, bei Syntrex $1\frac{1}{4}$ Minute, wie in den Prospekten vorgeschrieben wird.

Bestimmung der Standard-Konsistenz

Um verschiedene Produkte vergleichen zu können, müssen Probekörper von gleicher Konsistenz hergestellt werden, da von ihr die Ergebnisse weitgehend abhängig sind. Dazu wird eine bestimmte, abgewogene Pulvermenge in der oben beschriebenen Weise mit 0,4 cm³ Flüssigkeit angerieben. Von der plastischen Masse werden 0,5 cm³ in einen Glaszylinder von entsprechendem Fassungsvermögen gefüllt und mit einem Kolben auf eine Glasplatte ausgestoßen. Zwei Minuten nach Beginn der Mischung wird die Masse mit einer anderen Glasplatte von 20 g gedeckt und einem zusätzlichen Gewicht von 2480 g belastet. So wird das Zement zu einer Scheibe gepreßt. Der Mittelwert des größten und kleinsten Durchmessers dieser Scheiben soll 25 ± 1 mm betragen. Die Prüfung wird so oft wiederholt, bis die Norm erreicht wird. Das Durchschnittsgewicht des Pulvers dreier solcher Determinationen, abgerundet auf die nächsten 0,05 g, ergibt die Pulvermenge, die zur Herstellung der Probekörper von Standardkonsistenz gebraucht wird. (Abb. 1.)

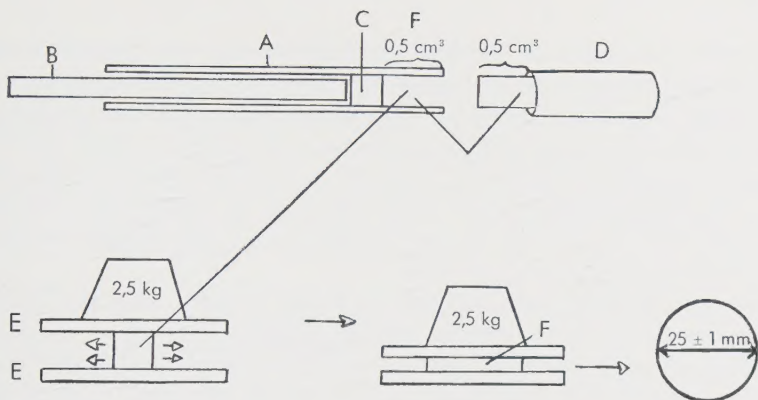


Abb. 1. Apparatur zur Bestimmung der Standardkonsistenz

A Glasröhre
B Metallstab

C Gummischeibe
D Metallstöpsel

E Glasplatten
F Zement

Auf diese Weise wurden für die drei untersuchten Produkte folgende Pulvermengen bestimmt, die, mit 0,4 ml Flüssigkeit angerührt, Prüfkörper von Standardkonsistenz ergeben:

Syntrex	1,65 g
SS. White	1,40 g
FP 7	1,40 g

Mit diesem Mischverhältnis wurden hernach alle Probekörper hergestellt.

Die Werte entsprechen annähernd den Pulvermengen, die in den einzelnen Gebrauchsanweisungen angegeben werden. Bei Syntrex war es wegen der größeren Pulvermenge etwas schwieriger als bei den andern Produkten, die Mischung in der vorgeschriebenen Zeit zu beenden.

Die Konsistenz eines Silikatzementes ist von entscheidender Bedeutung für alle seine Eigenschaften. Leider weist die Bestimmung der Standardkonsistenz und damit die Grundlage für die verschiedenen Untersuchungen Schwachpunkte auf, die einer Kritik nicht standhalten. Siegfried Kirschsieper weist in seiner Arbeit «Mein Beitrag zur Frage der Prüfungsvorschriften für Silikat-Zemente» darauf hin. Er schreibt:

«Die Komprimierung des Materials von 0,5 cm³ aus der Zylinderform zu einer runden Scheibe von 25 mm Durchmesser mit einem bis zum Ende der 10. Minute einwirkenden Gewicht von 2500 g hängt nicht allein von seinem Plastizitätsgrad (nach Beendigung des Anrührens), der seinerseits durch Mischungsverhältnis, Art und Intensität der Verarbeitung bedingt ist, sondern von seiner speziellen Erhärtungs- und Abbindegeschwindigkeit ab. Es liegt bei dem einen oder anderen Material der Zeitpunkt der Erstarrung früher

oder später, was durch die jeweilige Zusammensetzung und Eigenschaft der Grundstoffe bedingt ist. Es wird somit der Einwirkung des Gewichtes zu verschiedenen Zeitpunkten bereits ein hoher Erstarrungswiderstand entgegengesetzt, und es resultieren daraus ein geringerer oder größerer Scheibendurchmesser, was den Untersuchenden veranlaßt, ein anderes, kleineres oder größeres Mischungsverhältnis, denn darum geht es ja, zu wählen. Die verschiedene Adhäsion der Zemente an den Glasplatten wird auch wirksam werden, wenn auch nur in ganz geringem Maße.

Hier also liegt der Angriffspunkt der Kritik. Werden doch auf Grund dieser Tatsache die Besonderheiten und individuellen Unterschiede eines jeden Materials nicht richtig und erschöpfend berücksichtigt. Die Faktoren Zeit und Gewicht bilden die Fehlerquelle, und man müßte wenigstens einen davon ausschalten können.»

Um die Richtigkeit dieser Überlegungen zu beweisen, stellte er Proben von Gebrauchsanweisungskonsistenz her, die er auf ihre Eigenschaften hin untersuchte. Die Gebrauchsanweisungskonsistenz wurde gefunden, indem eine abgewogene Pulvermenge nach der von den Fabrikanten angegebenen Definition der Gebrauchsanweisungs-Konsistenz mit $0,4 \text{ cm}^3$ Flüssigkeit vermischt und durch Zurückwiegen des Restes das verbrauchte Quantum Pulver bestimmt wurde. Es ergab sich ein anderes Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis als bei der Standardkonsistenz und damit wurden auch andere Ergebnisse bezüglich Erhärtungszeit, Druckfestigkeit und Transluzenz erhalten, die von den Werten bei Standardkonsistenz zum Teil wesentlich abwichen. Einzig in bezug auf Löslichkeit zeigen sich nur geringe Abweichungen.

Alle in unserer Arbeit untersuchten Eigenschaften von Silikatzementen wurden bei Standardkonsistenz geprüft trotz den dargelegten Schwächen bei ihrer Bestimmung. Wenn die Resultate bei Gebrauchsanweisungskonsistenz auch teilweise anders sind als bei Standardkonsistenz, so sind sie doch nicht eindeutiger. Nach Vorschrift der Fabrikanten hat ein Silikatzement die richtige Gebrauchskonsistenz, wenn nach der vorgeschriebenen Mischungszeit ein Spatel auf die Zementmasse gedrückt und langsam hochgehoben wird und die Mischung dem Spatel dann ein kurzes Stück folgt, um hernach plötzlich abzubrechen. Die Spatelprobe fällt aber nicht nur bei einer ganz bestimmten Pulvermenge positiv aus, sondern innerhalb eines Pulvermaximums und -minimums. Daher kann auf diese Weise die Pulvermenge für die Gebrauchskonsistenz nicht genau bestimmt werden. Es wird schwer sein, eine Prüfmethode auszuarbeiten, die die speziellen Eigenheiten eines jeden Fabrikates berücksichtigt und doch auf alle anwendbar ist. Sicher ist, daß ein Material, das bei Standardkonsistenz gute Ergebnisse zeigt, auch bei Gebrauchsanweisungskonsistenz befriedigen wird.

Löslichkeitsprüfung

Methodik: 0,5 ml Zement von Standardkonsistenz werden 2 Minuten nach Beginn der Mischung in einen Ring von 20 mm innerem Durchmesser und 1,5 mm Höhe, der genau 0,5 ml Zement faßt, gegeben, und zwischen zwei Glasplatten gepreßt, so daß Probekörper von gleicher Oberfläche entstehen. Zum Aufhängen des Probekörpers wird ein gewachster Seidenfaden in den weichen Zement gebracht. Drei Minuten nach Mischungsbeginn werden die Platten mit dem Zement für eine Stunde in einen Thermostaten von 37° C und 100% relativer Feuchtigkeit gelegt. Darnach werden je zwei Probekörper in ein genau austariertes Wägegläschen gehängt und gewogen (Abb. 2). Das Gesamtgewicht abzüglich des Gewichtes des leeren Wägegläschens und des Seidenfadens ergibt das Gewicht der zwei Probekörper. Dann werden 50 cm³ destilliertes Wasser in das Gläschen gegossen und dieses mit den von Wasser völlig bedeckten Probekörpern für 23 Stunden in einen Thermostaten von 37° C gestellt. Nach dieser Zeit werden die Probekörper aus dem destillierten Wasser herausgenommen. Ihre Oberfläche soll keine Kristallbildung oder Ausscheidung zeigen. Das Wasser wird bei einer Temperatur gerade unter 100° C verdampft (Abb. 3) und das Wägegläschen hernach bei 149° C bis zu konstantem Gewicht getrocknet. Das Wägegläschen wird gewogen. Die Differenz zwischen dem Endgewicht des Gläschens und dem Anfangsgewicht ergibt das Gewicht der gelösten Substanz. Die Gewichtszunahme dividiert durch das Gewicht des Probekörpers mal 100 ergibt die Löslichkeit in Prozenten. Von jedem Material wurden zwei Untersuchungen gemacht und der Durchschnitt auf den nächsten 0,01 % aufgerundet.

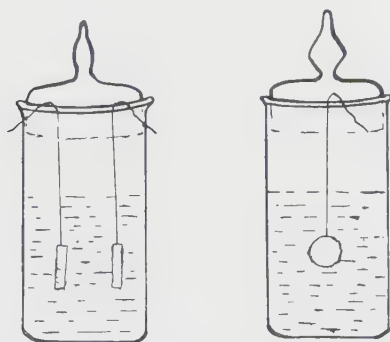


Abb. 2. Filterwägegläschen mit Zementproben

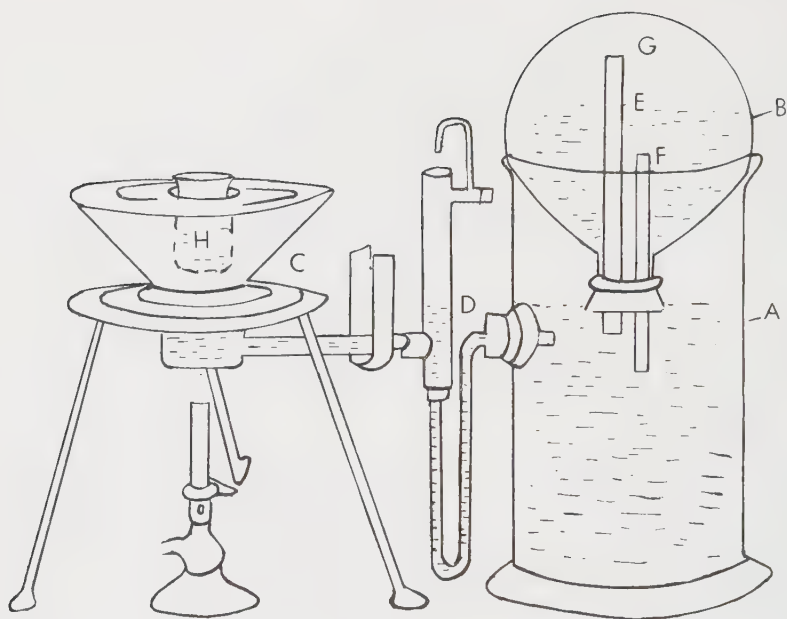


Abb. 3. Verdampfungsapparatur

Die Apparatur zur Wasserverdampfung besteht aus dem Wasserbehälter (A) mit Reservoir (B), der eigentlichen Verdampfungsapparatur mit Bunsenbrenner (C) und den die beiden verbindenden Röhren (D). Nach dem Prinzip kommunizierender Röhren steht das Wasser in (A), (D) und (C) auf gleicher Höhe. Wird das Wasser in (C) verdampft, so sinkt auch das Niveau des Wassers in Gefäß (A) langsam. Berührt das Glasrohr (E) den Wasserspiegel nicht mehr, so dringt Luft in den luftverdünnten Raum (G), und aus dem Reservoir fließt durch das Glasrohr (F) Wasser nach, bis das ursprüngliche Niveau wieder erreicht wird.

Mit Hilfe dieser Apparatur kann das destillierte Wasser im Wägegläschen (H) bei einer Temperatur von ca. 97° verdampft werden. Da das Wasser nicht siedet, wird die Gefahr eines Substanzverlustes durch Spritzer oder steigende größere Gasblasen mit eingeschlossenen, feinsten gelösten Zementpartikeln ausgeschlossen.

Die Prüfung ergab folgende Werte:

	Gewicht des Probekörpers	gelöste Substanz	in ‰
<i>Syntrex</i>	2,267 g	0,0093 g	0,41
	2,217 g	0,0089 g	0,40
<i>SS. White</i>	2,224 g	0,023 g	1,0
	2,282 g	0,026 g	1,2
<i>FP 7</i>	2,145 g	0,033 g	1,5
	2,12 g	0,037 g	1,7

Durchschnittliche Löslichkeit

Syntrex:	0,4 ‰
SS. White:	1,1 ‰
FP 7:	1,6 ‰

Diese Meßmethode ergibt sehr genaue Werte. Die Wasseraufnahme des Zementes und damit die Gewichtszunahme des Probekörpers während des Liegens im Wasser kann keinen Einfluß auf den Löslichkeitswert haben. Gewogen wird nur die tatsächlich in Lösung gegangene Substanz, der Eindampfungsrückstand. Nach der amerikanischen Normaufstellung soll die Löslichkeit nach 24 Stunden nicht mehr als 1,4 ‰ des Gewichtes betragen. Sowohl Syntrex wie SS. White entsprechen dieser Anforderung, während FP 7 eine zu große Löslichkeit aufweist. Wie Paffenbarger in seiner Untersuchungsreihe gezeigt hat, nimmt die Löslichkeit von Woche zu Woche ab und macht nur mehr einen Bruchteil der Anfangslöslichkeit aus.

Während bei Syntrex und SS. White die Probekörper nach der Lagerung in destilliertem Wasser stets eine glatte und homogene Oberfläche zeigten, war die Oberfläche der Probekörper bei FP 7 stets gewellt und voller Blasen, was auf eine Wasseraufnahme und Quellung während der Abbindezeit und der Liegedauer in destilliertem Wasser zurückzuführen ist.

Oberflächen und Randzonen von Silikatzement-Proben

1943 veröffentlichte Dolder in der «Schweizerischen Monatsschrift für Zahnheilkunde» Nr. 7 eine Arbeit über «Oberflächengestaltung größerer approximaler Silikatfüllungen». Darin kommt er zum Schluß, daß es im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der Silikatzementfüllung erstrebenswert sei, die sich bei der Erhärtung erstmals bildende glatte Oberfläche möglichst lange unverletzt zu erhalten. Für diese Forderung werden folgende Gründe angegeben:

1. Zwischen den einzelnen Partikeln des Zementpulvers befindet sich Luft. Bei der Mischung von Pulver und Flüssigkeit wird diese Luft nicht vollständig verdrängt und bleibt als kleine Blasen im abgebundenen Zement liegen. Bei der Politur werden diese Blasen aufgeschliffen. Es entstehen zahlreiche kleine Dellen auf der Zementoberfläche, die dadurch stark vergrößert wird und der Korrosion viel mehr Angriffspunkte liefert.

2. Wird die plastische Zementmasse unter Druck gepreßt, so entsteht eine glatte, glänzende Oberfläche. Nach der Politur weist diese, je nach der Korngröße des verwendeten Schleifmaterials, feinere oder gröbere Unebenheiten und Rillen auf. Feste und flüssige korrodierende Stoffe, Nahrungsreste und die sich bildenden Säuren haften besser, und da zudem die Oberfläche der Füllung und damit die Angriffsfläche beträchtlich vergrößert wird, wird der Korrosionsprozeß wesentlich beschleunigt.

Die folgenden Bilder sind Oberflächenaufnahmen der drei untersuchten Zemente im Auflicht mit zwanzigfacher Vergrößerung. Das erste Bild zeigt je eine unbearbeitete Oberfläche, das zweite eine polierte. Zur Politur wurde Schleifmaterial verwendet, dessen Korngröße dem der in der Praxis verwendeten Strips entspricht.

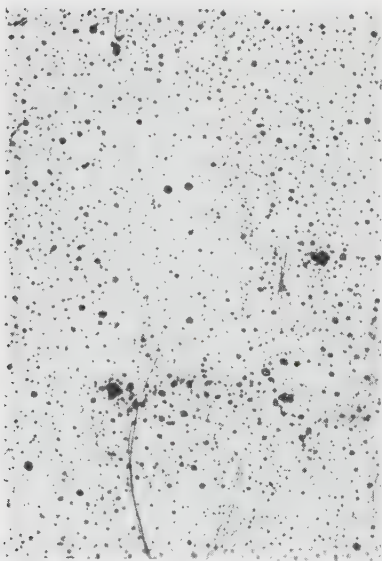


Abb. 4. Syntrex unpoliert

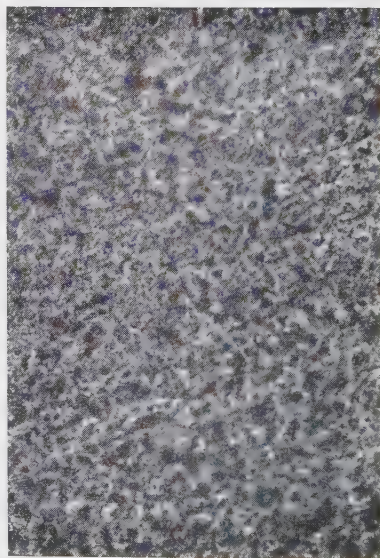


Abb. 5. Syntrex poliert

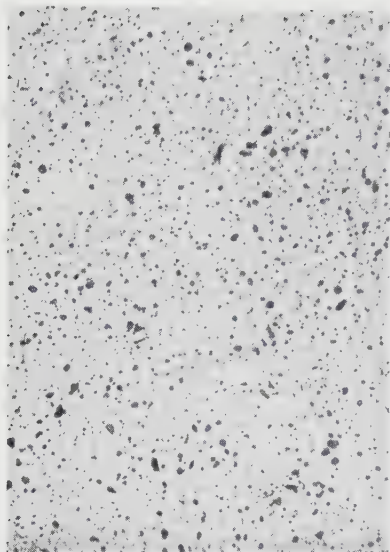


Abb. 6. SS. White unpoliert

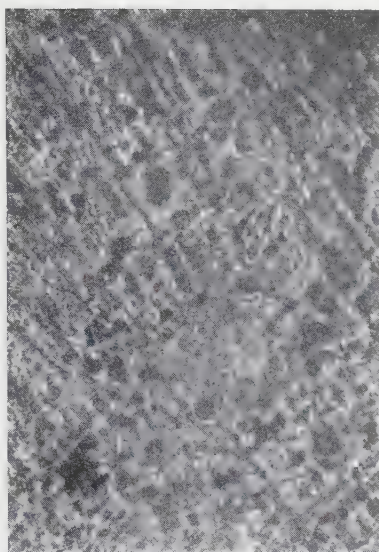


Abb. 7. SS. White poliert

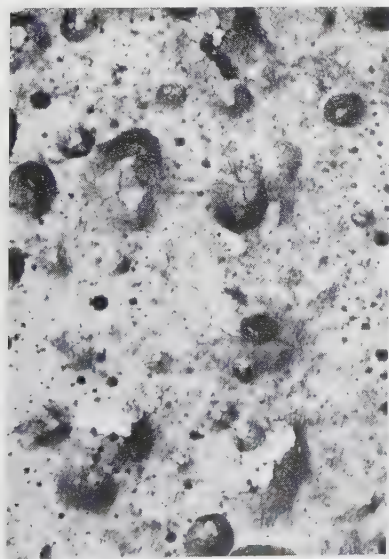


Abb. 8. FP 7 unpoliert

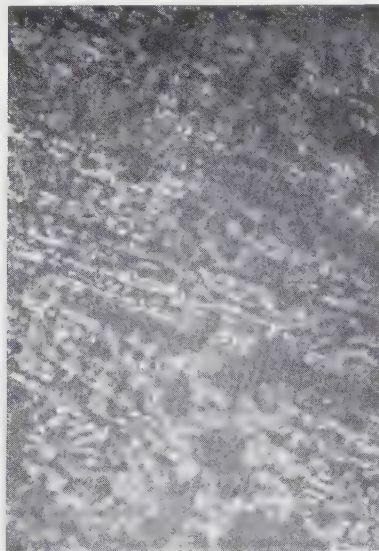


Abb. 9. FP 7 poliert

Syntrex und SS White zeigen ungefähr die gleichen Oberflächenbilder. Während die unpolierte Oberfläche glatt und glänzend ist, ist die polierte rau, uneben, matt und weist zahlreiche Vertiefungen und Rillen und damit eine viel größere Oberfläche auf. Wie schon bei der Löslichkeitsprüfung festgestellt wurde, zeigen die Proben von FP 7 eine wellige Oberfläche, was hier im Bild deutlich in Erscheinung tritt. Außerdem weist sie zahlreiche feine Risse auf, was wohl auf die stürmische und schnelle Wasseraufnahme während der Abbindezeit zurückzuführen ist. Die gleiche Beobachtung wurde auch von anderen Autoren gemacht. Dausch schreibt 1940 in seiner Arbeit «Die Löslichkeit und Färbbarkeit von Silikatzementen»: Alle Probekörper von FP 7 zeigen deutlich zwei voneinander getrennte Vorgänge: nämlich Kontraktion und Expansion. Sprünge beweisen die Kontraktion und zeigen sich besonders bei Austrocknung in viel stärkerem Maße, als es bei anderen Silikatzementen üblich ist. Kompensiert soll diese Kontraktion durch Expansion werden, daher auch die Forderung für FP 7, den Zutritt von Feuchtigkeit zu ermöglichen. Die Wasseraufnahme geht im Versuch so stark vor sich, daß sich breite Risse zeigen und mitunter auch einzelne Teile herausgesprengt werden. Wenn auch diese große Wasseraufnahme die gute Transparenz von FP 7 erreichen läßt, die die anderen Präparate weit überragt, so sind doch derartige Volumenschwankungen zu groß, um nicht schädigend auf die Silikatfüllung zu wirken.

In der erwähnten Arbeit gebraucht Dolder erstmals den Begriff der Rindenschicht eines Silikatzementes, der hier näher erläutert werden soll. Wird die plastische Zementmasse in eine Kavität gefüllt und unter Druck gepreßt, entweicht an der Oberfläche ein Teil der eingeschlossenen Luft, die Zementpartikel treten hier näher zusammen und es entsteht eine dichtere Randzone oder Rindenschicht. Um diese nachzuweisen wurden Zementproben auf folgende Weise hergestellt:

0,5 cm³ angeriebener Zement wurde in einen Ring von entsprechendem Fassungsvermögen gefüllt, mit 2 kg belastet und drei Minuten nach Beginn der Mischung für eine Stunde in einen Thermostaten von 37° C gestellt. Aus der runden Zementprobe wurde in der Mitte ein Stück herausgesägt und in einen schnellhärtenden, durchsichtigen Kunststoff eingebettet. Die Oberflächen der so erhaltenen Werkstücke wurden teils trocken, teils naß mit einer feinen Feile und mit Schmirgelpapier glatt geschliffen und die so erhaltenen Proben von 1 bis 1,5 mm Dicke unter dem Mikroskop im durchfallenden Licht untersucht. Um das durch den Kunststoff fallende störende Licht abzusichern, wurde zuerst versucht, den Kunststoff schwarz zu färben, was aber dessen Härte verminderte und sich nicht bewährte. Es wurde deshalb der Kunststoff mit schwarzem Papier bis zum Rand der Zementprobe überklebt.

Bei allen Proben konnte eine mehr oder minder dicke, dichtere Randzone beobachtet werden. Sie wurde im durchfallenden Licht mit 36facher Vergrößerung aufgenommen. (Abbildungen 10, 11 und 12)

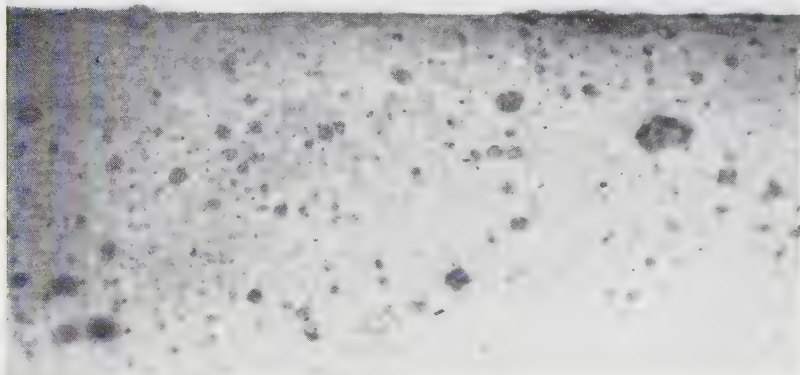


Abb. 10. Rindenschicht von Syntrex

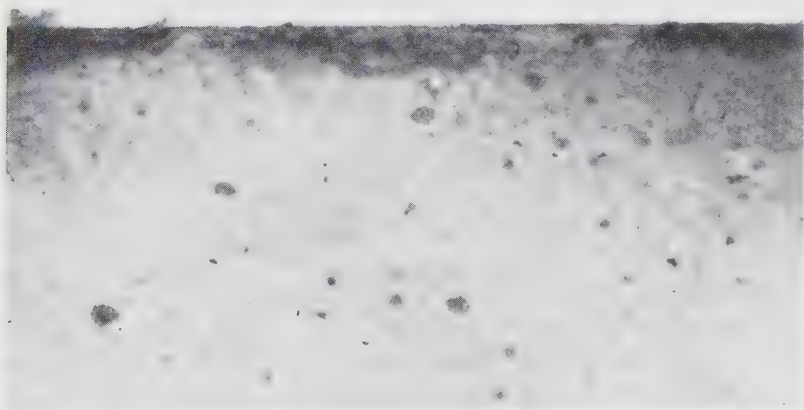


Abb. 11. Rindenschicht von SS. White

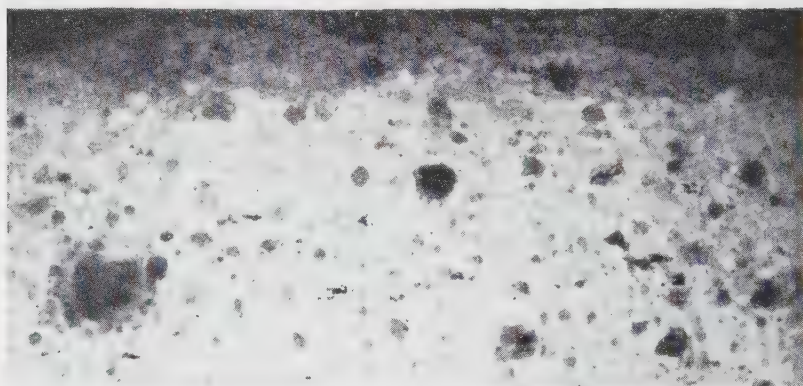


Abb. 12. Rindenschicht von FP 7

Die Dicke der Rindenschicht beträgt bei:

Syntrex	0,05 mm
SS. White	0,05—0,16 mm
FP 7	0,2 —0,3 mm

Die Proben waren ca. 1,7 mm dick. Die Rindenschicht zeigt eine dichtere Struktur und nur wenige Luftblasen und bietet darum dem Korrosionsprozeß mehr Widerstand als die weniger dichte innere Schicht des Zementes. Es ist eine Schutzschicht, in der das übrige Zement wie eine Frucht in der Schale eingebettet ist. Bei der Politur wird diese dichtere Schutzschicht ganz oder teilweise weggeschliffen und dadurch der Korrosionsprozeß beschleunigt. Silikatzementfüllungen sollten daher aus diesem und den vorn dargelegten Gründen wenn immer möglich nicht poliert werden, um ihre Dauerhaftigkeit nicht von Anfang an zu vermindern.

Die Transluzenz der Silikatzemente

Bedeutung der Transluzenz

Dolder schreibt 1943 in seiner Arbeit über «Physikalische Werkstoffprüfungen an Zahnprothesen im Laboratorium und am Patienten» über die Bedeutung der Farbe und Transluzenz von Prothesen-Kunststoffen:

«Das Aussehen eines Stoffes wird neben der Form durch die Transluzenz

und die Farbe bestimmt. In der prothetischen Zahnheilkunde wurden in letzter Zeit große Anstrengungen gemacht, den künstlichen Porzellanzähnen ein lebensähnliches Aussehen (True-blend, New-Hue, Pellucor, Lumin, Novophan u.a.) zu geben. Die Erreichung der naturgleichen Farbe und Transluzenz spielte bei diesen Zahnfabrikaten eine ausschlaggebende Rolle. Es ist nun durchaus selbstverständlich, daß die gleichen Anforderungen an das Prothesenbasismaterial gestellt werden, damit die naturgetreuen Zähne auf ein ebenso lebensähnliches, künstliches Zahnfleisch gestellt werden können, um nicht in einer unnatürlichen Umgebung wiederum als künstlich erkannt zu werden und ihrer beabsichtigten Wirkung verlustig zu gehen.

Bei der optischen Beurteilung der Prothesenkunststoffe ist vorerst folgendes zu bedenken: Ein Teil der auffallenden Lichtstrahlen wird — falls die Oberfläche glatt poliert ist — regelmäßig ins Auge des Beschauers zurückgeworfen; ein anderer Teil — falls die Oberfläche rauh ist — diffus zerstreut. Ein weiterer Teil dringt in das Innere des Stoffes ein, wo er teils absorbiert und teils wiederum diffus dispergiert wird, ein letzter Teil passiert den Stoff vollständig. Die Wellenlänge des zurückgeworfenen Lichtteils bedingt den *Farbton*. Die Größe des zurückgeworfenen Lichtteils (zusammen mit dem Farbton) bedingen die *Helligkeit* der Farbe. Die Größe des durchgehenden Lichtteiles gibt uns Aufschluß über die Größe der *Transluzenz*, des Durchscheinens des betreffenden Stoffes. Fügt sich hinter dem Stoff ein anderer Stoff an, so können die durchgehenden Strahlen an der anschließenden Fläche gleichmäßig reflektiert oder diffus zerstreut oder verschluckt werden. Durch entsprechende Gestaltung der Prothesenoberfläche (glatt oder leicht höckerig, mit kleinen Unebenheiten) können wir die Verteilung des regelmäßig zurückgeworfenen und des unregelmäßig zerstreuten Lichtanteiles nach Belieben dirigieren. Im allgemeinen ist es nicht gut, wenn zu viel direkt reflektiertes Licht das Auge des Beschauers trifft, da dadurch das reflektierende Objekt übermäßig hell und sichtbar wird, was wir im Falle des künstlichen Zahnfleisches nicht wünschen; dasselbe soll so wenig wie die Zähne besonders auffallen. Deshalb werden die labialen Prothesenpartien mit Vorteil leicht höckerig gestaltet, wodurch ein mattes, weniger auffälliges Aussehen erreicht wird.»

Was hier über die Prothesenkunststoffe gesagt wird, das gilt in gleichem Maße auch für Silikatzementfüllungen. Denn, wie die künstlichen Zähne und die Prothesenbasis sich in das vorhandene Milieu, Restgebiß und natürliche Schleimhaut, einfügen müssen, so muß auch die einzelne Füllung in Farbe und Transluzenz sich dem Zahn angleichen, um möglichst naturgetreu und lebenswahr zu wirken und nicht sofort als Ersatz zerstörter Substanz, als künstlich, erkannt zu werden. Die Größe der Transluzenz sollte der des natürlichen Schmelzes entsprechen.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Transluzenz ungefärbter Proben von Syntrex, SS. White und FP 7 gemessen und geprüft, ob sie den Anforderungen des «National Bureau of Standards» entsprechen.

Die eine Hälfte der Proben wurde poliert, um festzustellen, ob durch die Politur die Transluzenz wesentlich verändert werde.

Ferner wurde die prozentuale Abnahme der Transluzenz von Syntrex A und B gegenüber ungefärbten Proben bestimmt.

Methode der Transluzenz-Prüfung

Das «American Bureau of Standards» hat folgende Meßmethode ausgearbeitet:

Eine genügende Menge Silikatzement von Standardkonsistenz soll zwischen zwei flachen Glasplatten zu einer Scheibe von ca. 3 cm Durchmesser und $1 \pm 0,025$ mm Dicke gepreßt werden. Drei Minuten nach Mischungsbeginn werden die Platten mit dem Zement für eine Stunde in eine Atmosphäre von 37°C und 100 % relativer Feuchtigkeit gebracht. Dann wird der Probekörper von der Platte weggenommen und für 23 Stunden in destilliertes Wasser von 37°C getaucht. Die Undurchsichtigkeit des Zementprobekörpers und zweier Standard-Opalglaskörper deren C 0,70 Wert 0,35 resp. 0,55 beträgt, wird untereinander verglichen, indem sie zusammen abwechselnd vor einen schwarzen und einen weißen Hintergrund gestellt werden. Glaskörper und Zement müssen von einem Film destillierten Wassers überzogen sein, ebenso der Raum zwischen diesen beiden und der schwarze und weiße Hintergrund. Der Unterschied des C 0,70 Wertes von Probe- und Standardkörper soll nicht mehr als $\pm 0,02$ betragen. Wenn die Undurchsichtigkeit des Probekörpers innerhalb der Undurchsichtigkeit von zwei Standardkörpern liegt, so entspricht er den Anforderungen.

Da diese Meßmethode sehr subjektiv ist und keine absoluten Werte ergibt, wurden die Messungen nach der von Hinderer und Spanner, «Deutsche Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 1935», angegebenen objektiven Meßmethode der Transparenz von Zahnzementen, die auch Paffenbarger angibt, durchgeführt. Kirschsieper hat ebenfalls nach dieser Methode Transluzenzmessungen angestellt.

Die Methode beruht darauf, daß die Transluzenz mittels einer photoelektrischen Zelle anhand des Zeigerausschlages eines Ampèremeters gemessen wird. Die Stromstärke ist direkt abhängig von der Größe der durchfallenden Lichtmenge, so daß die Probekörper je nach ihrer Transluzenz einen größeren oder kleineren Ausschlag am Ampèremeter ergeben.

Der Apparat besteht in seinem Aufbau aus zwei hohlzylindrischen Teilen, dem Unterteil mit der Lichtquelle, einem Lämpchen von 4 Volt und 0,6

Ampère und einem Oberteil, der in der Mitte eine Öffnung (Durchmesser 11 mm) aufweist, auf die der Probekörper gelegt wird. Der Oberteil kann in den unteren geschoben werden, und da er auf einem Ring mit Gewinde aufliegt, kann der Abstand der beiden Teile und damit auch der Abstand von Lichtquelle und Probekörper reguliert werden, was zur Eichung des Apparates notwendig ist. Dem Oberteil wird eine Selenzelle aufgesetzt. Das den Probekörper passierende Licht erzeugt in der Zelle einen photoelektrischen Strom, der mit dem Ampèremeter gemessen wird. Der Zeigerausschlag, multipliziert mit der eingestellten Zahl am Drehwiderstandknopf, ergibt die Beleuchtungsstärke in Lux. Der Widerstand wurde bei allen Messungen konstant auf 2 gestellt. Als Stromquelle für die Lampe diente ein 4-Volt-Accumulator. (Abb. 13 und 14)

Die Transluzenzmessung wurde folgendermaßen vorgenommen: Eine genügende Menge von angerührtem Zement von Standardkonsistenz wurde in einen Ring von 1 mm Höhe (1,2 mm für zu polierende Probekörper) gefüllt, für eine Stunde in einen Thermostaten von 37° C und 100 % relativer Feuchtigkeit gebracht und nachher für 23 Stunden in destilliertes Wasser von 37° C getaucht. Nach 24 Stunden wurden die Proben von 1,2 mm Dicke mittels feinem Schmirgelpapier bis zu einer Dicke von 1 mm geschliffen. Die Apparatur wurde mit einem Milchglaskörper geeicht, indem der Abstand zwischen Lichtquelle und Milchglaskörper reguliert wurde bis der Ausschlag am Ampèremeter auf 30 sank. Jetzt wurden die Probekörper der einzelnen Produkte gemessen. Anhand der Resultate konnte wohl die Transluzenz der einzelnen Produkte miteinander verglichen, aber keine Schlüsse gezogen werden, ob sie den amerikanischen Anforderungen entsprechen oder nicht.

Da mir die Standardkörper auch zur Verfügung standen, wurden die beiden Methoden kombiniert. Die Standardkörper sind zwei rechteckige Opalglasplättchen von 1 und 1,5 mm Dicke. Ihre Oberfläche ist größer als die der hergestellten Proben. Deshalb wurden sie mit schwarzem Papier mit kreisrunder Öffnung von gleichem Durchmesser wie die hergestellten Proben überklebt, so daß gleich große Flächen verglichen werden konnten. In der vorher angegebenen Weise wurde nun mit der photoelektrischen Zelle die Transluzenz der Standardkörper bestimmt. So wurden zwei Werte erhalten, innerhalb deren die Transluzenzwerte der Proben der verschiedenen Produkte liegen mußten, wenn sie den amerikanischen Anforderungen entsprechen sollten.

Transluzenz der Standardkörper

Dicke	Lux
1 mm	57
1,5 mm	49

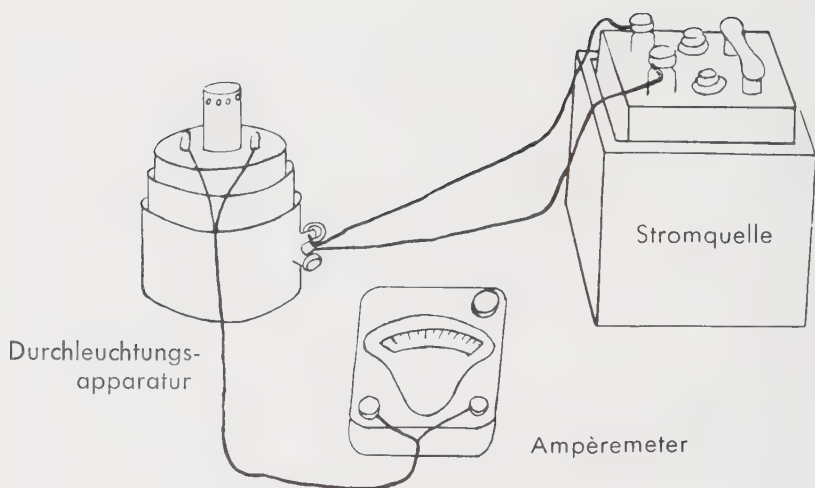


Abb. 13. Versuchsanordnung für die Transluzenzmessung

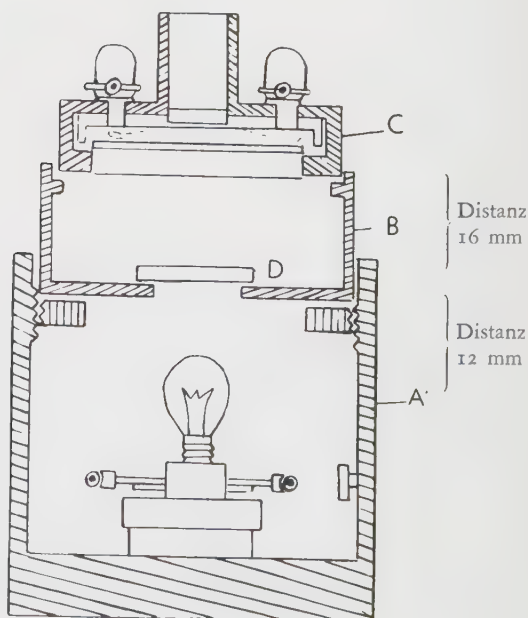


Abb. 14. Querschnitt durch
die Durchleuchtungsapparatur

- A Unterteil mit Lichtquelle
- B Oberteil mit Zementprobe
- C Selenzelle
- D Zementprobe

Ergebnisse der Transluzenzmessung (Werte in Lux)

Syntrex (Nr. 1)

	24 h	48 h	3 Tg.	5 Tg.	8 Tg.	10 Tg.	12 Tg.	15 Tg.
weiß, unpoliert	54	56	56	57	56	56		56
weiß, poliert	53			56	54			54
A, unpoliert	40			42	42			42
A, poliert	38			42	42	42		42
B, unpoliert	43			45	45	45		45
B, poliert	42			43		43		43

SS. White (Nr. 15)

unpoliert	57		59	59		59	60
poliert	56		56	59		59	59

FP 7 (Nr. 0)

unpoliert	50		50	52		52	52
poliert	51			52		52	53

Aus den Tabellen lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

1. Alle drei untersuchten Produkte entsprechen den Anforderungen des «National Bureau of Standards». Die Werte von FP 7 liegen an der unteren, die von SS. White an der oberen Grenze.

2. Die Endwerte der Transluzenz werden schon nach 24 Stunden annähernd erreicht. Syntrex erreicht seinen Endwert schon nach 48 Stunden.

3. Die Politur vermindert die Transluzenz nur in geringem Maße.

4. Die Transluzenz bleibt auch nach 15tägiger Liegedauer im destillierten Wasser konstant.

Farbbeimischung vermindert die Transluzenz wesentlich. Sie nimmt gegenüber ungefärbten Proben bei Syntrex A um 25—28%, bei B um 20—21% ab.

Zusammenfassung und Kritik der Ergebnisse

Es wurden die drei Silikatzemente Syntrex, SS. White und FP 7 auf Konsistenz, Löslichkeit und Transluzenz geprüft, ihre Oberflächen und Randzonen untersucht, die Untersuchungsmethoden genau beschrieben und die Ergebnisse aufgezeigt und ausgewertet. Konsistenz und Löslichkeit wurden nach

den amerikanischen Normvorschriften geprüft, während die Transluzenz nach einer einfacheren Methode gemessen wurde, die mit der amerikanischen kombiniert wurde. Oberflächen und Randzonen wurden mikroskopisch untersucht und mit photographischen Aufnahmen belegt.

Syntrex und SS. White zeigen in allen drei Untersuchungen gute Resultate, die den Anforderungen des «National Bureau of Standards» entsprechen, während FP 7 wohl eine genügende Transluzenz besitzt, aber eine zu große Löslichkeit aufweist und starke Volumenschwankungen zeigt.

Die Bestimmung der Standardkonsistenz als Grundlage der verschiedenen Untersuchungen wurde im entsprechenden Teil genau beschrieben und darauf hingewiesen, daß diese Methode verschiedene Schwachpunkte aufweist, daß sie aber trotzdem sicher brauchbar ist und schwer durch eine bessere ersetzt werden kann.

Der Abbindevorgang wird bei den Versuchen im Thermostaten von 37° C sicher wesentlich gleich verlaufen wie im Munde bei Körpertemperatur. Doch geben uns die Löslichkeitswerte nach 24stündiger Liegedauer in destilliertem Wasser nur Hinweise auf die Löslichkeit in der Mundflüssigkeit mit ihren mannigfachen, wechselnden und gleichzeitig wirkenden Einflüssen bei einer Liegedauer von mehreren Jahren.

Aus den Untersuchungen über Oberflächen und Randzonen der verschiedenen Silikatzemente wird die Folgerung gezogen, daß Silikatzementfüllungen im Hinblick auf ihre Dauerhaftigkeit wenn immer möglich nicht poliert werden sollen. Jeder Praktiker weiß aber, daß es oft sehr schwer ist, dieser Forderung gerecht zu werden, da beim Einfüllen und Pressen der plastischen Zementmasse fast immer überschüssiges Material über die Cavitätenränder tritt, das später doch wegpoliert werden muß. Bei sorgfältigem Arbeiten ist dieser Überschuß klein, er soll nur mit Schleifmaterial von feinstem Korngröße wegpoliert werden.

Das natürliche und lebendige Aussehen einer Silikatfüllung wird durch ihre Farbe und Transluzenz bestimmt. Wichtig ist die genaue Farbauswahl, da Farbe und Transluzenz in direkter Beziehung zueinander stehen und z. B. die Auswahl einer zu dunklen Farbe oder von Grau statt Gelb eine Verminderung der Transluzenz der Füllung und damit auch eine Beeinträchtigung ihres natürlichen und lebendigen Aussehens bedingt.

Abschließend ist festzuhalten, daß alle durchgeführten Untersuchungen Laboratoriumsprüfungen sind. Sie geben uns wohl einen guten Überblick über die wesentlichen Eigenschaften der untersuchten Silikatzemente, aber sie genügen nicht, um ein endgültiges Werturteil abgeben zu können, da die besonderen Verhältnisse im Munde nicht vollständig berücksichtigt werden können.

Literatur-Verzeichnis

- Darnutzer C.: Der Silikatzement als Werkstoff für Frontzahnfüllungen. Diss. Zürich 1951
- Dausch Heinz: Die Löslichkeit und Färbbarkeit von Silikatzementen. Diss. Berlin 1940
- Dolder E.: Physikalische Werkstoffprüfungen an Zahnprothesen im Laboratorium und am Patienten. Schweiz. Monatsschrift für Zahnheilkunde 53, S. 435, 535; 1943
- Dolder E.: Oberflächengestaltung größerer approximaler Silikatfüllungen. Schweiz. Monatsschrift für Zahnheilkunde. 53, S. 713; 1943
- Kirschsieper Siegfried: Zahnärztliche Materialprüfung. DZZ 6, S. 770; 1951
- Paffenbarger G.C.
Sweeney A. C.
Schoonover J. C. und
Dickson G. American Dental Association Specification No. 9 For Dental Silicate Cement: First Revision Effective July 1st, 1950. J.A.D.A. 40, No. 2, S. 186; 1950
- Hinderer u. Spanner: D.Z.M.K., Bd. 2, S. 302 (1935)

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem sehr verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. E. Dolder vom Zahnärztlichen Universitäts-Institut Zürich, an dieser Stelle für die Überlassung des Themas, seine Anregungen und die Unterstützung mit Rat und Tat herzlich zu danken.

Curriculum vitae

Ich bin am 1. September 1924 in Zermatt geboren und besuchte dort die Primarschule. Im Herbst 1939 trat ich in das Kollegium in Brig ein, wo ich die ersten vier Gymnasialklassen absolvierte. Nach Besuch von drei weiteren Gymnasialklassen am Kollegium in Schwyz legte ich dort 1945 die Maturitätsprüfung ab. Im Herbst des gleichen Jahres immatrikulierte ich mich an der Universität Zürich. Dasselbst bestand ich das erste und zweite Propaedeutikum und schloß im Frühjahr 1951 meine Studien mit dem Staatsexamen für Zahnärzte ab. Nachdem ich als Assistent bei Dr. C. Alder in Pfäffikon (ZH) tätig war, übernahm ich eine zahnärztliche Praxis in Winterthur.

